

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКОЛОГООРИЕНТИРОВАННОЙ
КОНДЕНСАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА АММИАКА**

Бабиченко А.К., Тошинский В.И.

НТУ «ХПИ», г. Харьков, e-mail: tosh@kpi.kharkov.ua

Одним из базовых для азотной промышленности Украины и России являются агрегаты синтеза серии АМ-1360 по проекту ГИАП, характеризующиеся чрезмерными затратами электроэнергии до 130 кВт·ч/т. NH_3 . В значительной степени эти затраты обусловлены использованием в блоке вторичной конденсации отделения синтеза аммиачного двухступенчатого турбокомпрессорного холодильного агрегата (АТК), потребляющего до 4,8 тыс.кВт·ч электроэнергии. Такое повышение расхода электроэнергии связано с необходимостью увеличения холодопроизводительности АТК для стабилизации температуры вторичной конденсации на регламентном уровне 0°C вследствие увеличения тепловой нагрузки в условиях повышенной температуры атмосферного воздуха. При холодопроизводительности двух параллельно работающих в этом блоке абсорбционно-холодильных установок (АХУ), утилизирующих низкопотенциальную теплоту, постоянно и не превышает 6,28 МВт·ч. Повышение температуры атмосферного воздуха а следовательно и температуры первичной конденсации вследствие применения в блоке первичной конденсации аппаратов воздушного охлаждения увеличивает тепловую нагрузку и на последующий в циркуляционной схеме отделения синтеза блок компрессии с паровой турбиной, что вызывает увеличение расхода пара и природного газа на сжигание во вспомогательный паровой котел. Увеличивается при этом и количество вредных выбросов в атмосферу с продуктами сгорания. Поэтому повышение энергоэффективности и экологичности агрегата может быть достигнуто снижением температуры первичной конденсации. Однако снижение температуры первичной конденсации связано с одной стороны с увеличением энергозатрат для дополнительного охлаждения циркуляционного газа, а с другой – с их снижением в блоках компрессии и вторичной конденсации, что свидетельствует о наличии оптимальной температуры. Поэтому решение задачи оптимизации и синтеза аппаратно-технологического оформления процесса первичной конденсации для исключения АТК, как наиболее энергоемкого оборудования, и снижения расхода природного газа на сжигание являлось целью исследований.

Решение задачи оптимизации осуществлялось методом математического моделирования с использованием разработанного математического описания отделения синтеза [1]. Расчеты проводились при ограничениях, характерных для промышленных условий эксплуатации. Полученные по результатам моделирования обобщенные зависимости энергетических затрат свидетельствуют о наличии оптимальной температуры первичной конденсации на уровне 32,5°C, обеспечивающей минимальное потребление тепловой и холодильной энергии. Однако при данной температуре общая нагрузка на холодильные системы блока вторичной конденсации для стабилизации температуры вторичной конденсации на регламентном уровне составляет 9 МВт·ч, что при проектном расходе холодильной энергии двух АХУ 6,28 МВт·ч задача исключения АТК из схемы работы невозможна. Кроме того, в условиях повышенной температуры атмосферного воздуха более 25°C невозможно и обеспечение этой оптимальной температуры первичной конденсации.

Поэтому для установления условий возможного отключения АТК из схемы работы и выбора холодильного цикла для снижения температуры первичной конденсации с обоснованием экономической целесообразности такого снижения были проведены дополнительные исследования.

Исследования по определению условий отключения АТК проводились в промышленных условиях, позволившие установить, что при температуре первичной конденсации 27°C общее потребление холодильной энергии, обеспечивающее регламентную температуру вторичной конденсации составляет $6,8 \text{ МВт}\cdot\text{ч}$. Эта холодильная энергия, как показали исследования, может быть генерирована только двумя АХУ с отключением АТК. Однако при этом температура циркуляционного газа на входе блока вторичной конденсации не должна превышать $35,5^{\circ}\text{C}$, а на входе испарителей – 13°C , при температуре атмосферного не более 5°C . Достоверность исследований и расчетов была подтверждена внедрением технологии резервирования АТК в условиях вышеуказанных ограничений температур, что позволило снизить расход электроэнергии за счет отключения АТК более чем на $8 \text{ млн. кВт}\cdot\text{ч}$ или на $19,4 \text{ кВт}\cdot\text{ч/т. NH}_3$.

Для снижения температуры первичной конденсации до 27°C в весенне-летний период, в высокотемпературном испарителе после аппаратов воздушного охлаждения, как показал анализ литературы и технологического оформления агрегата синтеза, целесообразно использование пароэжекторных аммиачных холодильных систем (ПХУ), работа которых может быть обеспечена рабочим аммиачным паром за счет утилизации низкопотенциальной теплоты отработанного водяного пара турбины компрессора технологического воздуха с температурой около 90°C , давлением $0,04 \text{ МПа}$ при расходе $54,5 \text{ т/ч}$, безвозвратно теряемой в настоящее время в аппаратах воздушного охлаждения с электроприводом от 3-х вентиляторов с потреблением электроэнергии $972 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$.

Расчеты цикла ПХУ для обеспечения температуры первичной конденсации в диапазоне $25\div 40^{\circ}\text{C}$ при давлении конденсации в холодильном цикле $1,6 \text{ МПа}$ позволили установить необходимые расходы холодильной энергии, холодоагента, рабочего пара и отработанного водяного пара. В результате чего были установлены эксплуатационные затраты электроэнергии в цикле ПХУ (кривая 1) для конденсации рабочего пара и холодоагента. С учетом эксплуатационных затрат природного газа и глубокообессоленной воды (кривая 3) во вспомогательный паровой котел для получения водяного пара на паровую турбину и электроэнергии для АТК (кривая 2) была построена результирующая кривая 4 на уровне цен для предприятий за 2008 г, представленная на рис. 1.

Как видно из графика, при температуре первичной конденсации 27°C обеспечиваются минимальные затраты на уровне 3600 грн/ч . При этом резкий скачок кривой затрат электроэнергии для АТК обусловлен недостатком существующего способа регулирования производительности, а именно в диапазоне лишь $50\div 100 \%$. Это же наблюдается и для результирующей кривой.

Для обеспечения регламентного значения температуры вторичной конденсации с отключением АТК необходимо увеличение расхода холодильной энергии двух АХУ до уровня $6,8 \text{ МВт}\cdot\text{ч}$, что в условиях повышенной температуры атмосферного воздуха невозможно. Исследованиями установлено, что максимально генерируемая холодильная энергия в этих условиях составляет лишь $6,28 \text{ МВт}\cdot\text{ч}$, а температура охлаждения циркуляционного газа выше регламентной нормы. В связи с этим были проведены специальные исследования по установлению закономерностей

протекающих процессов в основных аппаратах АХУ, позволившие уточнить их математические модели. Результаты исследований математического моделирования позволили осуществить синтез энерготехнологического оформления АХУ повышенной холодопроизводительности, которая обеспечивается дополнительной ректификацией паров жидким холодоагентом из конденсатора проведением процессов генерации-ректификации и конденсации на различных уровнях давлений за счет включения между ними струйного компрессора и дополнительного переохлаждения жидкого холодоагента в водяном переохладителе перед паровым переохладителем [2]. При этом генерируемая холодильная энергия двух АХУ увеличивается до 7,4 МВт·ч, почти в 5 раз снижается расход дренируемой из испарителя флегмы и достигается уменьшение температуры вторичной конденсации на 2,5°C.

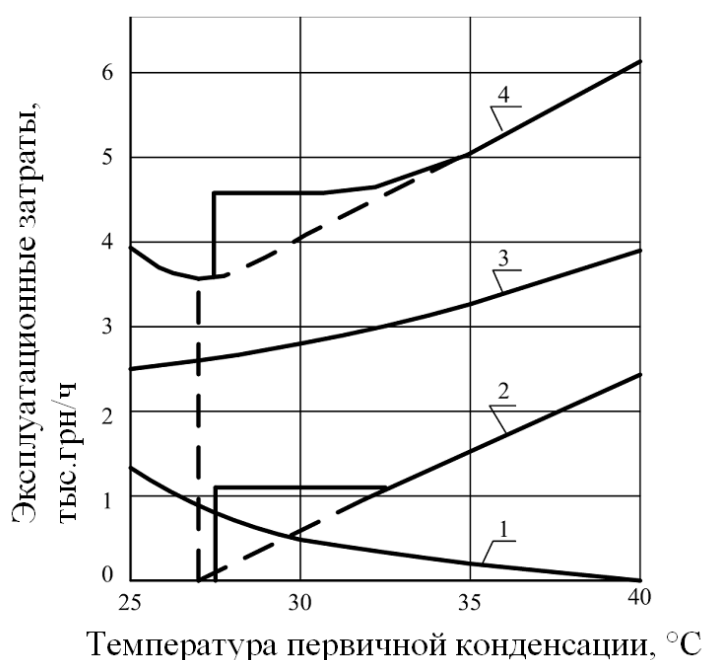


Рис.1. Зависимости эксплуатационных затрат агрегата синтеза аммиака от температуры первичной конденсации.

Литература:

1. Бабіченко А.К. Вплив температури первинної конденсації на ефективність експлуатації великотонажних агрегатів синтезу аміаку / А.К. Бабіченко, В.І. Тошинський // Восточно-европейский журнал передовых технологий. — 2008. — № 3. — С. 23-27.
2. Патент на корисну модель № 42161. Україна. МПК F25 В 15/00, F25В 49/00, С 01С 1/00. Установка для виробництва аміаку / Бабіченко А.К., Тошинський В.І., Красніков І.Л., Деменкова С.Д.; заявник і власник НТУ «ХПІ». № U 200900599; заявл. 27.01.2009; опубл. 25.06.2009, Бюл. № 12.

Предложенное аппаратно-технологическое оформление процессов в блоках первичной и вторичной конденсации при эксплуатации агрегата синтеза в условиях повышенной температуры атмосферного воздуха в среднем около 4320 ч (6 месяцев) позволит за счет уменьшения температуры первичной конденсации на 8°C снизить расходные коэффициенты по природному газу на 3,67 м³/т. NH₃ обессоленной воды на подпитку на 0,023 т/т. NH₃ и уменьшить выбросы оксидов азота с продуктами сгорания на 3,9 т. За счет полного исключения из схемы работы АТК снижение расходного коэффициента по электроэнергии составит свыше 32 кВт·ч/т. NH₃.